

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

3
12-27-00
ORS

Docket No.: 50212-132

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of :
Tetsufumi TSUZAKI et al. :
Serial No.: 09/667,576 : Group Art Unit: 3662
Filed: September 22, 2000 : Examiner: To be assigned
For: OPTICAL AMPLIFIER AND OPTICAL AMPLIFICATION METHOD



TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT(S)

Honorable Commissioner for Patents and Trademarks
Washington, D. C. 20231

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following applications:

Japanese Patent Application No. 11-196251 filed July 9, 1999; and

Japanese Patent Application No. 11-212190 filed July 27, 1999.

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:mcm
Date: December 21, 2000
Facsimile: (202) 756-8087

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application:

1999年 7月 9日

出願番号
Application Number:

平成11年特許願第196251号

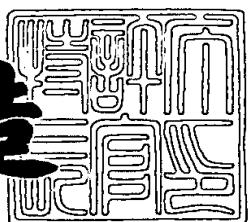
出願人
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2000年10月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3081940

【書類名】 特許願
【整理番号】 099Y0195
【提出日】 平成11年 7月 9日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 3/00
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内
【氏名】 津崎 哲文
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内
【氏名】 西村 正幸
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内
【氏名】 重松 昌行
【特許出願人】
【識別番号】 000002130
【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社
【代理人】
【識別番号】 100088155
【弁理士】
【氏名又は名称】 長谷川 芳樹
【選任した代理人】
【識別番号】 100089978
【弁理士】
【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9810286

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光増幅器および光増幅器制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 励起光により信号光を増幅する光増幅部と、
前記光増幅部に励起光を供給する励起手段と、
前記光増幅部から出力されるパワーが所定の目標値になるよう制御する出力制
御手段と、
信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、前記波長帯域
において波長に対する損失の傾斜が可変である損失傾斜可変デバイスと、
前記損失の傾斜を制御し、前記光増幅部の波長に対する利得の傾斜を補償する
損失傾斜制御手段と
を備えることを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 前記光増幅部の固有の利得波長依存性を等化する利得等化器
を更に備えることを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

【請求項3】 前記損失傾斜制御手段は、前記光増幅部に入力するパワーに基
づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

【請求項4】 前記損失傾斜制御手段は、前記光増幅部における光増幅の利
得に基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項1記載の光増幅
器。

【請求項5】 前記損失傾斜制御手段は、前記光増幅部から出力される各波
長のパワーの偏差に基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項
1記載の光増幅器。

【請求項6】 前記損失傾斜可変デバイスは、
信号光を導波させる主光路と、
第1の光カプラおよび第2の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合さ
れて前記主光路ならびに前記第1および前記第2の光カプラとともに第1のマッ
ハツエンダ干渉計を構成する第1の副光路と、

第3の光カプラおよび第4の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合さ
れて前記主光路ならびに前記第3および前記第4の光カプラとともに第2のマッ

ハツエンダ干渉計を構成する第2の副光路と、

前記第1の光カプラと前記第2の光カプラとの間における前記主光路および前記第1の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第1の温度調整手段と、

前記第3の光カプラと前記第4の光カプラとの間における前記主光路および前記第2の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第2の温度調整手段とを備え、

前記損失傾斜制御手段は、前記損失傾斜可変デバイスの前記第1および前記第2の温度調整手段を制御して前記損失の傾斜を制御する

ことを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

【請求項7】 前記損失傾斜可変デバイスが前記光増幅部の後段に設けられることを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

【請求項8】 前記光増幅部が複数の区間に区分され、前記損失傾斜可変デバイスが前記光増幅部の区間と区間との間に設けられることを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

【請求項9】 励起光により信号光を増幅する光増幅部と、前記光増幅部に励起光を供給する励起手段とを備える光増幅器の制御方法であって、

前記光増幅部から出力されるパワーが所定の目標値になるよう制御するとともに、

信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、前記波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失傾斜可変デバイスを用いて、前記損失の傾斜を制御し、前記光増幅部の波長に対する利得の傾斜を補償することを特徴とする光増幅器制御方法。

【請求項10】 前記光増幅部の固有の利得波長依存性を利得等化器により等化することを特徴とする請求項9記載の光増幅器制御方法。

【請求項11】 前記光増幅部に入力するパワーに基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項9記載の光増幅器制御方法。

【請求項12】 前記光増幅部における光増幅の利得に基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項9記載の光増幅器制御方法。

【請求項13】 前記光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項9記載の光増幅器制御方法。

【請求項14】 前記損失傾斜可変デバイスは、

信号光を導波させる主光路と、

第1の光カプラおよび第2の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合されて前記主光路ならびに前記第1および前記第2の光カプラとともに第1のマツハツエンダ干渉計を構成する第1の副光路と、

第3の光カプラおよび第4の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合されて前記主光路ならびに前記第3および前記第4の光カプラとともに第2のマツハツエンダ干渉計を構成する第2の副光路と、

前記第1の光カプラと前記第2の光カプラとの間における前記主光路および前記第1の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第1の温度調整手段と

前記第3の光カプラと前記第4の光カプラとの間における前記主光路および前記第2の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第2の温度調整手段とを備え、

前記損失傾斜可変デバイスの前記第1および前記第2の温度調整手段を制御して前記損失傾斜可変デバイスの損失の傾斜を制御する

ことを特徴とする請求項9記載の光増幅器制御方法。

【請求項15】 前記損失傾斜可変デバイスが前記光増幅部の後段に設けられることを特徴とする請求項9記載の光増幅器制御方法。

【請求項16】 前記光増幅部が複数の区間に区分され、前記損失傾斜可変デバイスが前記光増幅部の区間と区間との間に設けられることを特徴とする請求項9記載の光増幅器制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、多波長の信号光を一括して光増幅することができる光増幅器、およ

び、この光増幅器の制御方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光増幅器は、励起光により励起可能な蛍光物質が添加された信号光を光増幅する光増幅部と、この光増幅部に励起光を供給する励起手段とを含み、光伝送システムにおける中継局などに設けられる。特に、多波長の信号光を伝送する波長多重伝送システムに用いられる光増幅器は、多波長の信号光それぞれを互いに等しい利得で一括光増幅するとともに、多波長の信号光それぞれのパワーを一定の目標値として出力することが重要である。

【0003】

例えば、文献1「K. Inoue, et al., "Tunable Gain Equalization Using a Mach-Zehnder Optical Filter in Multistage Fiber Amplifiers", IEEE Photonics Technology Letters, Vol.3, No.8, pp.718-720 (1991)」には、マッハツエンダ干渉計を用いた光フィルタにより光増幅器の利得平坦化を図る技術が記載されている。また、文献2「S. Kinoshita, et al., "Large Capacity WDM Transmission Based on Wideband Erbium-Doped Fiber Amplifiers", OSA TOPS, Vol.2 5, pp.258-261 (1998)」には、光増幅器の前段光増幅部と後段光増幅部との間に減衰量可変の光減衰器を挿入して、前段光増幅部に入力する信号光のパワーが変動しても、後段光増幅部に入力する信号光のパワーを光減衰器により一定に保つことにより、光増幅器から出力される信号光のパワーを一定の目標値に保つとともに、光増幅器全体の利得偏差をも一定に保つ技術が記載されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記文献1に記載された技術では、例えば光増幅器の前段の伝送路の損失が何等かの原因により変動して、光増幅器に入力する信号光のパワーが変動したときに、光増幅器から出力される信号光のパワーを一定の目標値に保とうとすると、光増幅器における信号光の光増幅の利得を変化させる必要がある。そして、利得を変化させると、利得の波長依存性すなわち利得傾斜が変動し、その結果、光増幅器の利得平坦性が損なわれ、光増幅器から出力される多波長の

信号光それぞれのパワーが偏差を有することになる。

【0005】

また、上記文献2に記載された技術では、後段光増幅部に入力する信号光のパワーを光減衰器により一定の目標値に保とうとすると、前段光増幅部に入力する信号光のパワーが充分に大きいときに、信号光に大きな減衰を光減衰器により与えることになり、その結果、励起効率が悪くなつて、雑音指数が劣化する。

【0006】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、入力信号光パワーが変動しても雑音指数を劣化させることなく出力信号光パワーおよび利得平坦性を維持することができる光増幅器および光増幅器制御方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光増幅器は、(1) 励起光により信号光を増幅する光増幅部と、(2) 光増幅部に励起光を供給する励起手段と、(3) 光増幅部から出力されるパワーが所定の目標値になるよう制御する出力制御手段と、(4) 信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であつて、波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失傾斜可変デバイスと、(5) 損失の傾斜を制御し、光増幅部の波長に対する利得の傾斜を補償する損失傾斜制御手段とを備えることを特徴とする。

【0008】

本発明に係る光増幅器制御方法は、励起光により信号光を増幅する光増幅部と、光増幅部に励起光を供給する励起手段とを備える光増幅器の制御方法であつて、光増幅部から出力されるパワーが所定の目標値になるよう制御するとともに、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であつて、波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失傾斜可変デバイスを用いて、損失の傾斜を制御し、光増幅部の波長に対する利得の傾斜を補償することを特徴とする。

【0009】

本発明に係る光増幅器または光増幅器制御方法によれば、光増幅器への入力信号光パワーが変動しても、光増幅器からの出力信号光パワーを所定の目標値に維持することができる。また、入力信号光パワーの変動に因り光増幅部の利得の傾斜が生じることがあっても、損失傾斜可変デバイスの損失の傾斜を調整することにより、光増幅器全体の利得平坦性を維持することができる。さらに、損失傾斜可変デバイスの損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。

【0010】

また、本発明に係る光増幅器は、光増幅部の固有の利得波長依存性を等化する利得等化器を更に備えることを特徴とする。本発明に係る光増幅器制御方法は、光増幅部の固有の利得波長依存性を利得等化器により等化することを特徴とする。この場合には、損失傾斜可変デバイスにより光増幅部の利得傾斜が補償され、光増幅部の固有の利得波長依存性が等化されるので、光増幅器全体の利得平坦性は優れたものとなる。

【0011】

また、本発明に係る光増幅器では、損失傾斜制御手段は、光増幅部に入力するパワーに基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよいし、光増幅部における光増幅の利得に基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよいし、また、光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよい。本発明に係る光増幅器制御方法でも、光増幅部に入力するパワーに基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよいし、光増幅部における光増幅の利得に基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよいし、また、光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよい。これら何れの場合にも、損失傾斜可変デバイスにより光増幅部の利得傾斜を補償して光増幅器全体の利得平坦性を維持する上で好適である。

【0012】

また、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法それぞれでは、損失傾斜

可変デバイスは、(1) 信号光を導波させる主光路と、(2) 第1の光カプラおよび第2の光カプラそれぞれを介して主光路と光結合されて主光路ならびに第1および第2の光カプラとともに第1のマッハツエンダ干渉計を構成する第1の副光路と、(3) 第3の光カプラおよび第4の光カプラそれぞれを介して主光路と光結合されて主光路ならびに第3および第4の光カプラとともに第2のマッハツエンダ干渉計を構成する第2の副光路と、(4) 第1の光カプラと第2の光カプラとの間における主光路および第1の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第1の温度調整手段と、(5) 第3の光カプラと第4の光カプラとの間における主光路および第2の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第2の温度調整手段とを備えるものが好適である。そして、損失傾斜可変デバイスの第1および第2の温度調整手段を制御して損失の傾斜を制御することを特徴とする。この損失傾斜可変デバイスは、第1および第2のマッハツエンダ干渉計が継続接続された構成のものであり、この損失傾斜可変デバイスの全体の損失スペクトルは、第1および第2の温度調整手段による温度調整により設定された第1および第2のマッハツエンダ干渉計それぞれの透過スペクトルに応じて定まる。

【0013】

また、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法それぞれでは、損失傾斜可変デバイスが光増幅部の後段に設けられるのが好適であり、光増幅部が複数の区間に区分され損失傾斜可変デバイスが光増幅部の区間と区間との間に設けられるのも好適である。損失傾斜可変デバイスが設置される位置が後であるほど雑音指数の劣化が低減され、損失傾斜可変デバイスが設置される位置が前であるほど励起効率がよい。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0015】

(第1の実施形態)

先ず、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第1の実施形態につい

て説明する。図1は、第1の実施形態に係る光増幅器100の概略構成図である。本実施形態に係る光増幅器100は、光入力端101から光出力端102へ順に、光カプラ130、前段光増幅部111、損失傾斜可変デバイス140および後段光増幅部112が接続されている。また更に、光増幅器100は、前段光増幅部111へ励起光を供給する励起光源121、後段光増幅部112へ励起光を供給する励起光源122、および、損失傾斜可変デバイス140の損失スペクトルを制御する制御回路150を備える。

【0016】

光カプラ130は、光入力端101から到達した光の一部を分岐して制御回路150へ向けて出力し、残部を前段光増幅部111へ向けて出力する。前段光増幅部111は、励起光源121により励起光を供給され、光カプラ130から到達した信号光を一括光増幅して出力する。損失傾斜可変デバイス140は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有している。後段光増幅部112は、励起光源122により励起光を供給され、損失傾斜可変デバイス140から到達した信号光を一括光増幅して、光出力端102へ出力する。

【0017】

制御回路150は、光カプラ130により分岐された信号光のパワーを検出する。そして、制御回路150は、その入力信号光パワーに基づいて、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源121および122それぞれから出力される励起光のパワーを制御する。また、制御回路150は、その入力信号光パワーに基づいて、損失傾斜可変デバイス140の損失傾斜を制御する。

【0018】

図2は、前段光増幅部111および励起光源121の説明図である。前段光増幅部111は、増幅用光ファイバ113、光カプラ114、光アイソレータ115および116を含む。光カプラ114は、励起光源121から出力された励起光を増幅用光ファイバ113へ導入するとともに、増幅用光ファイバ113から出力された信号光を通過させる。光アイソレータ115および116それぞれは、順方向へ光を通過させるが、逆方向へは光を通過させない。

【0019】

また、増幅用光ファイバ113は、励起光源121から出力された励起光により励起可能な蛍光物質が添加された信号光を光増幅する光導波路である。添加される蛍光物質は、好適には希土類元素であり、より好適にはE_r元素である。E_r元素が添加される場合、波長1.55μm帯の信号光を光増幅することができるので好適である。また、このとき、励起光源121から出力され増幅用光ファイバ113へ供給される励起光の波長は1.48μmまたは0.98μmが好適である。後段光増幅部112および励起光源122も同様の構成である。

【0020】

次に、損失傾斜可変デバイス140の好適な1実施例について説明する。図3は、損失傾斜可変デバイス140の説明図である。この損失傾斜可変デバイス140は、例えば石英からなる基板10上に形成された平面光導波路回路であって、主光路20、第1の副光路21、第2の副光路22、第1の温度調整手段としてのヒータ51、および、第2の温度調整手段としてのヒータ53を備えている。

【0021】

主光路20は、基板10の一方の端面にある光入力端11に入射した光を、第1の光カプラ31、第2の光カプラ32、第3の光カプラ33および第4の光カプラ34を順次に経て、基板10の他方の端面にある光出力端12まで導波させて、その光出力端12から光を出射させる。主光路20と第1の副光路21とは、第1の光カプラ31および第2の光カプラ32それぞれを介して互いに光結合されている。そして、主光路20、第1の副光路21、第1の光カプラ31および第2の光カプラ32は第1のマッハツエンダ干渉計41を構成している。主光路20と第2の副光路22とは、第3の光カプラ33および第4の光カプラ34それぞれを介して互いに光結合されている。そして、主光路20、第2の副光路22、第3の光カプラ33および第4の光カプラ34は第2のマッハツエンダ干渉計42を構成している。

【0022】

ヒータ51は、第1の光カプラ31と第2の光カプラ33との間ににおける主光

路20上に設けられている。このヒータ51は、主光路20の温度を調整することにより、第1のマッハツエンダ干渉計41における主光路20と第1の副光路21との光路長差を調整して、第1のマッハツエンダ干渉計41の透過特性を調整する。また、ヒータ53は、第3の光カプラ33と第4の光カプラ34との間における第2の副光路22上に設けられている。このヒータ53は、第2の副光路22の温度を調整することにより、第2のマッハツエンダ干渉計42における主光路20と第2の副光路22との光路長差を調整して、第2のマッハツエンダ干渉計42の透過特性を調整する。これらヒータ51および53は制御回路150により制御される。

【0023】

なお、第1の光カプラ31と第2の光カプラ33との間における第1の副光路21上や、第3の光カプラ33と第4の光カプラ34との間における主光路20上にもヒータを設けてもよい。また、ヒータに替えてペルチ工素子を設けてもよい。

【0024】

この損失傾斜可変デバイス140では、光入力端11に入力し主光路20を経て光出力端12から出力される光に対する損失スペクトルは、光カプラ31および32による主光路20と第1の副光路21との間の光結合に基づく第1のマッハツエンダ干渉計41の透過特性、および、光カプラ33および34による主光路20と第2の副光路22との間の光結合に基づく第2のマッハツエンダ干渉計42の透過特性により定まる。この損失傾斜可変デバイス140は、基板10上に集積化されて小型である点で好適であり、また、挿入損失が小さい点でも好適である。

【0025】

次に、第1の実施形態に係る光増幅器100の動作を説明するとともに、第1の実施形態に係る光増幅器制御方法を説明する。図4は、第1の実施形態に係る光増幅器100の動作を説明する図である。損失傾斜可変デバイス140の損失スペクトル（図4（a））は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である。そし

て、その損失傾斜は、入力信号光パワーをモニタする制御回路150により制御される。

【0026】

入力信号光パワーが所定値であり、前段光增幅部111および後段光增幅部112における信号光の光增幅の利得が波長に依らず略一定である場合(図4(b))、これに対して入力信号光パワーが所定値より小さくなったときには、前段光增幅部111および後段光增幅部112における信号光の光增幅の利得は、制御回路150により制御されて大きくなり、その結果、波長が長いほど利得が小さくなり、利得傾斜が生じる(図4(c))。しかし、このときに、損失傾斜可変デバイス140の損失傾斜は制御回路150により制御されて、波長が長いほど損失が小さくなる。したがって、前段光增幅部111および後段光增幅部112の利得傾斜が損失傾斜可変デバイス140の損失傾斜により相殺されて、その結果、光增幅器100全体の利得特性は、波長に依らず略一定となる(図4(d))。

【0027】

以上のように、本実施形態では、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光增幅器100全体の利得平坦性を維持することができる。また、損失傾斜可変デバイス140の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化する事がない。なお、本実施形態において、損失傾斜可変デバイス140は、後段光增幅部112の後段にあってもよい。

【0028】

(第2の実施形態)

次に、本発明に係る光增幅器および光增幅器制御方法の第2の実施形態について説明する。図5は、第2の実施形態に係る光增幅器200の概略構成図である。なお、この図には、光增幅器200の前段に設けられる光增幅器200Aも示されている。本実施形態に係る光增幅器200は、光入力端201から光出力端202へ順に、光カプラ230、前段光增幅部211、損失傾斜可変デバイス240および後段光增幅部212が接続されている。また更に、光增幅器200は

、前段光増幅部211へ励起光を供給する励起光源221、後段光増幅部212へ励起光を供給する励起光源222、および、損失傾斜可変デバイス240の損失スペクトルを制御する制御回路250を備える。

【0029】

光カプラ230は、光入力端201から到達した光の一部を分岐して制御回路250へ向けて出力し、残部を前段光増幅部211へ向けて出力する。前段光増幅部211は、励起光源221により励起光を供給され、光カプラ230から到達した信号光を一括光増幅して出力する。損失傾斜可変デバイス240は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有している。後段光増幅部212は、励起光源222により励起光を供給され、損失傾斜可変デバイス240から到達した信号光を一括光増幅して、光出力端202へ出力する。

【0030】

制御回路250は、光カプラ230により分岐された入力信号光のパワーを検出するとともに、前段の光増幅器200Aから送信されてきた前段の光増幅器200Aの出力信号光パワーに関する情報を入力する。そして、制御回路250は、前段の光増幅器200Aの出力信号光パワーおよび自己の入力信号光パワーに基づいて必要利得を算出し、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源221および222それぞれから出力される励起光のパワーを制御する。また、制御回路250は、その必要利得に基づいて、損失傾斜可変デバイス240の損失傾斜を制御する。

【0031】

前段光増幅部211および後段光増幅部212それぞれの構成は、図2で説明したものと同様である。損失傾斜可変デバイス240の構成は、図3で説明したものと同様である。また、本実施形態に係る光増幅器200の動作および光増幅器制御方法は、図4で説明したものと略同様である。ただし、本実施形態では、損失傾斜可変デバイス240の損失傾斜は、必要利得をモニタする制御回路250により制御される。そして、もし、必要利得が大きくなると、前段光増幅部211および後段光増幅部212における信号光の光増幅の利得は、波長が長いほど

ど小さくなり、利得傾斜が生じる。しかし、このときに、損失傾斜可変デバイス240の損失傾斜は、制御回路250により制御されて、波長が長いほど損失が小さくなる。したがって、前段光增幅部211および後段光增幅部212の利得傾斜が損失傾斜可変デバイス240の損失傾斜により相殺されて、その結果、光増幅器200全体の利得特性は、波長に依らず略一定となる。

【0032】

以上のように、本実施形態でも、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器200全体の利得平坦性を維持することができる。また、損失傾斜可変デバイス240の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。なお、本実施形態において、損失傾斜可変デバイス240は、後段光增幅部212の後段にあってもよい。

【0033】

(第3の実施形態)

次に、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第3の実施形態について説明する。図6は、第3の実施形態に係る光増幅器300の概略構成図である。本実施形態に係る光増幅器300は、光入力端301から光出力端302へ順に、光カプラ331、前段光増幅部311、後段光増幅部312、損失傾斜可変デバイス340および光カプラ332が接続されている。また更に、光増幅器300は、前段光増幅部311へ励起光を供給する励起光源321、後段光増幅部312へ励起光を供給する励起光源322、および、損失傾斜可変デバイス340の損失スペクトルを制御する制御回路350を備える。

【0034】

光カプラ331は、光入力端301から到達した光の一部を分岐して制御回路350へ向けて出力し、残部を前段光増幅部311へ向けて出力する。前段光増幅部311は、励起光源321により励起光を供給され、光カプラ331から到達した信号光を一括光増幅して出力する。後段光増幅部312は、励起光源322により励起光を供給され、前段光増幅部311から到達した信号光を一括光増幅して出力する。損失傾斜可変デバイス340は、信号光の波長帯域中の所定波

長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有しており、後段光增幅部312から到達した信号光に損失を与える。光カプラ332は、損失傾斜可変デバイス340から到達した光の一部を分岐して制御回路350へ向けて出力し、残部を光出力端302へ出力する。

【0035】

制御回路350は、光カプラ331により分岐された入力信号光のパワーを検出するとともに、光カプラ332により分岐された出力信号光のパワーを検出する。そして、制御回路350は、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源321および322それぞれから出力される励起光のパワーを制御する。また、制御回路350は、出力信号光パワーおよび入力信号光パワーに基づいて利得を算出し、その利得に基づいて、損失傾斜可変デバイス340の損失傾斜を制御する。

【0036】

前段光增幅部311および後段光增幅部312それぞれの構成は、図2で説明したものと同様である。損失傾斜可変デバイス340の構成は、図3で説明したものと同様である。また、本実施形態に係る光増幅器300の動作および光増幅器制御方法は、図4で説明したものと略同様である。ただし、本実施形態では、損失傾斜可変デバイス340の損失傾斜は、利得を算出する制御回路350により制御される。そして、もし、利得が大きくなると、前段光增幅部311および後段光增幅部312における信号光の光増幅の利得は、波長が長いほど小さくなり、利得傾斜が生じる。しかし、このときに、損失傾斜可変デバイス340の損失傾斜は、制御回路350により制御されて、波長が長いほど損失が小さくなる。したがって、前段光增幅部311および後段光增幅部312の利得傾斜が損失傾斜可変デバイス340の損失傾斜により相殺されて、その結果、光増幅器300全体の利得特性は、波長に依らず略一定となる。

【0037】

以上のように、本実施形態でも、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器300全体の利得平坦性を

維持することができる。また、損失傾斜可変デバイス340の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。なお、本実施形態において、損失傾斜可変デバイス340は、前段光増幅部311と後段光増幅部312との間にあってもよい。

【0038】

(第4の実施形態)

次に、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第4の実施形態について説明する。図7は、第4の実施形態に係る光増幅器400の概略構成図である。実施形態に係る光増幅器400は、光入力端401から光出力端402へ順に、前段光増幅部411、後段光増幅部412および損失傾斜可変デバイス440が接続されている。また更に、光増幅器400は、前段光増幅部411へ励起光を供給する励起光源421、後段光増幅部412へ励起光を供給する励起光源422、光出力端402から出力される各波長の信号光のパワーをモニタするスペクトルモニタデバイス460、および、損失傾斜可変デバイス440の損失スペクトルを制御する制御回路450を備える。

【0039】

前段光増幅部411は、励起光源421により励起光を供給され、光入力端401から到達した信号光を一括光増幅して出力する。後段光増幅部412は、励起光源422により励起光を供給され、前段光増幅部411から到達した信号光を一括光増幅して出力する。損失傾斜可変デバイス440は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有しており、後段光増幅部412から到達した信号光に損失を与える。

【0040】

スペクトルモニタデバイス460は、光出力端402から出力される光の一部を分岐した後に分波し、或いは、図3に示した構造を有する損失傾斜可変デバイス440の第2の副光路22から出力される光を分波する。このスペクトルモニタデバイス460は、例えばアレイ導波路回折格子（AWG: Arrayed-Waveguide Grating）により実現することができ、この場合には、図3に示した構造を有

する損失傾斜可変デバイス440とともに共通の基板上に形成することができる小型化が可能である。

【0041】

制御回路450は、スペクトルモニタデバイス460により分波された各波長の出力信号光のパワーを検出する。そして、制御回路450は、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源421および422それぞれから出力される励起光のパワーを制御する。また、制御回路450は、各波長の出力信号光パワーの偏差に基づいて、その偏差が小さくなるように損失傾斜可変デバイス440の損失傾斜を制御する。

【0042】

前段光增幅部411および後段光增幅部412それぞれの構成は、図2で説明したものと同様である。損失傾斜可変デバイス440の構成は、図3で説明したものと同様である。また、本実施形態に係る光增幅器400の動作および光增幅器制御方法は、図4で説明したものと略同様である。ただし、本実施形態では、損失傾斜可変デバイス440の損失傾斜は、スペクトルモニタデバイス460により分波された各波長の出力信号光のパワーの偏差に基づいて制御回路450により制御される。

【0043】

次に、損失傾斜可変デバイス440およびスペクトルモニタデバイス460の好適な1実施例について説明する。図8は、損失傾斜可変デバイス440およびスペクトルモニタデバイス460の説明図である。損失傾斜可変デバイス440およびスペクトルモニタデバイス460は共通の基板10A上に形成されている。損失傾斜可変デバイス440は、図3に示した構成と同様の構成である。スペクトルモニタデバイス460は、基板10A上に形成されたAWGである。すなわち、スペクトルモニタデバイス460は、入力側スラブ導波路61、複数のチャネル導波路を有するアレイ導波路部62、出力側スラブ導波路63および出力側チャネル導波路64₁～64_Nを備える。

【0044】

入力側スラブ導波路61は、損失傾斜可変デバイス440の第2の副光路22

から出力される光を入力して、その光をアレイ導波路部62の各チャネル導波路それぞれへ出力する。アレイ導波路部62の複数のチャネル導波路それぞれは、入力側スラブ導波路61から出力側スラブ導波路63までの光路長が互いに異なり、導波する光に対して互いに異なる位相を与える。出力側スラブ導波路63は、アレイ導波路部62の複数のチャネル導波路それぞれから光を入力して、出力側チャネル導波路64₁～64_Nそれぞれへ出力する。

【0045】

出力側チャネル導波路64₁～64_Nそれぞれへ出力される光は、損失傾斜可変デバイス440の第2の副光路22から出力された光が分波された各波長の信号光である。そこで、制御回路450は、スペクトルモニタデバイス460の出力側チャネル導波路64₁～64_Nそれぞれへ出力された各波長の信号光のパワーを検出して、この各波長の信号光パワーの偏差が小さくなるように、損失傾斜可変デバイス440の損失傾斜を制御する。なお、制御回路450は、スペクトルモニタデバイス460により分波された各波長の信号光のうちの2波長（例えば最大波長および最小波長）の信号光のパワーの偏差が小さくなるように、損失傾斜可変デバイス440の損失傾斜を制御してもよい。

【0046】

以上のように、本実施形態でも、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器400全体の利得平坦性を維持することができる。また、損失傾斜可変デバイス440の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。更に、特に本実施形態では、損失傾斜可変デバイス440の損失傾斜がフィードバック制御されるので、安定した動作が可能である。

【0047】

（第5の実施形態）

次に、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第5の実施形態について説明する。図9は、第5の実施形態に係る光増幅器500の概略構成図である。本実施形態に係る光増幅器500は、第1の実施形態に係る光増幅器100において前段光増幅部111と損失傾斜可変デバイス140との間に利得等化器1

70を挿入したものである。利得等化器170は、前段光増幅部111および後段光増幅部112の固有の利得波長依存性を等化するものである。この利得等化器170は、例えば、光ファイバのコアに屈折率変調が形成された光ファイバグレーティング素子や、ファブリペロー共振器構造を有するエタロン型フィルタ等により実現することができる。

【0048】

次に、第5の実施形態に係る光増幅器500の動作を説明するとともに、第5の実施形態に係る光増幅器制御方法を説明する。図10は、第5の実施形態に係る光増幅器500の動作を説明する図である。入力信号光パワーが所定値であるときであっても、前段光増幅部111および後段光増幅部112の利得スペクトルは、厳密には一定とはならず、前段光増幅部111および後段光増幅部112に固有の利得波長依存性を有している（図10（a））。利得等化器170は、このときの前段光増幅部111および後段光増幅部112の利得スペクトルの形状と同様の形状の損失スペクトルを有している。

【0049】

これに対して入力信号光パワーが所定値より小さくなったときには、前段光増幅部111および後段光増幅部112における信号光の光増幅の利得は、制御回路150により制御されて大きくなり、その結果、波長が長いほど利得が小さくなり利得傾斜が生じ、さらに、その利得傾斜に上記固有の利得波長依存性が重畠されたものとなる（図10（b））。しかし、このときに、損失傾斜可変デバイス140の損失傾斜は制御回路150により制御されて、波長が長いほど損失が小さくなる。

【0050】

前段光増幅部111および後段光増幅部112の利得傾斜に重畠されていた上記固有の利得波長依存性は、利得等化器170により等化される（図10（c））。そして、前段光増幅部111および後段光増幅部112の利得傾斜は、損失傾斜可変デバイス140の損失傾斜により相殺される。その結果、光増幅器500全体の利得特性は、波長に依らず略一定となる。

【0051】

以上のように、本実施形態でも、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器500全体の利得平坦性を維持することができる。特に本実施形態では、損失傾斜可変デバイス140に加えて利得等化器170を設けたことにより、光増幅器500全体の利得平坦性は優れたものとなる。また、損失傾斜可変デバイス140の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。なお、本実施形態において、損失傾斜可変デバイス140および利得等化器170の双方または何れか一方は、後段光増幅部112の後段にあってもよい。

【0052】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、増幅用光ファイバに添加される蛍光物質は、Er元素に限られるものではなく、他の希土類元素（例えば、Tm元素、Pr元素、Nd元素等）であってもよい。増幅用光ファイバに替えて、励起光により励起可能な蛍光物質が添加された平面光導波路であってもよい。必ずしも前段光増幅部と後段光増幅部とに区分されていなくてもよい。また、第2～第4の実施形態に係る光増幅器の何れにも利得等化器を挿入してもよい。

【0053】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、光増幅器への入力信号光パワーが変動しても、光増幅器からの出力信号光パワーを一定の目標値に維持することができる。また、入力信号光パワーの変動に因り光増幅部の利得の傾斜が生じることがあっても、損失傾斜可変デバイスの損失の傾斜を調整することにより、光増幅器全体の利得平坦性を維持することができる。さらに、損失傾斜可変デバイスの損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。

【0054】

また、光増幅部の固有の利得波長依存性を利得等化器により等化する場合には、損失傾斜可変デバイスにより光増幅部の利得傾斜が補償され、光増幅部の固有の利得波長依存性が等化されるので、光増幅器全体の利得平坦性は優れたものと

なる。

【0055】

また、損失傾斜可変デバイスの損失の傾斜は、光増幅部に入力するパワーに基づいて制御してもよいし、光増幅部における光増幅の利得に基づいて制御してもよいし、また、光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて制御してもよい。これら何れの場合にも、損失傾斜可変デバイスにより光増幅部の利得傾斜を補償して光増幅器全体の利得平坦性を維持する上で好適である。特に、各波長の出力パワーの偏差に基づいて損失傾斜可変デバイスの損失傾斜をフィードバック制御する場合には安定した動作が可能である。

【0056】

また、損失傾斜可変デバイスは、第1および第2のマッハツェンダ干渉計が継続接続された構成のものであって、温度制御により損失の傾斜が制御されるものであるものが好適である。この損失傾斜可変デバイスは、基板上に集積化することで小型化可能であり、また、挿入損失が小さい。さらに、この損失傾斜可変デバイスはスペクトルモニタデバイスとともに基板上に集積化することも可能である。

【0057】

また、損失傾斜可変デバイスが光増幅部の後段に設けられる場合や、光増幅部が複数の区間に区分され損失傾斜可変デバイスが光増幅部の区間と区間との間に設けられる場合には、雑音指数の劣化が低減される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図2】

前段光増幅部および励起光源の説明図である。

【図3】

損失傾斜可変デバイスの説明図である。

【図4】

第1の実施形態に係る光増幅器の動作を説明する図である。

【図5】

第2の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図6】

第3の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図7】

第4の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図8】

損失傾斜可変デバイスおよびスペクトルモニタデバイスの説明図である。

【図9】

第5の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図10】

第5の実施形態に係る光増幅器の動作を説明する図である。

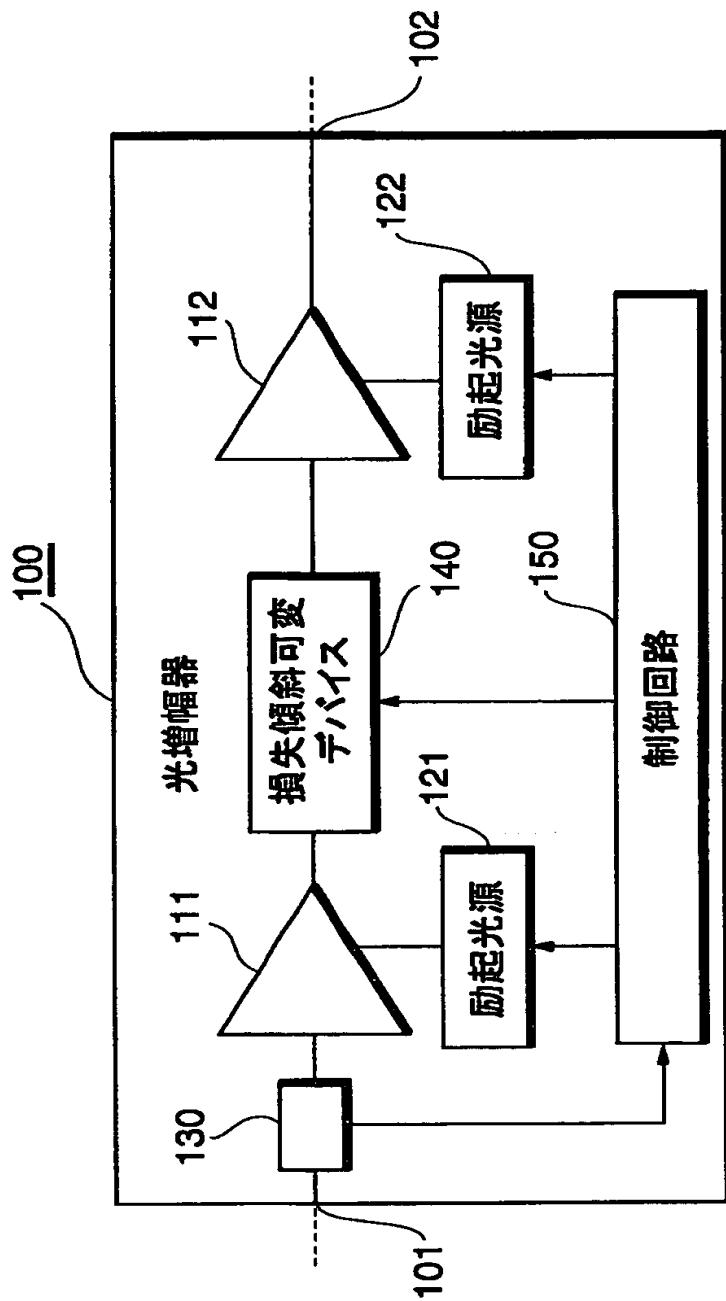
【符号の説明】

100…光増幅器、111…前段光増幅部、112…後段光増幅部、113…増幅用光ファイバ、114…光カプラ、115, 116…光アイソレータ、121, 122…励起光源、130…光カプラ、140…損失傾斜可変デバイス、150…制御回路、170…利得等化器、200…光増幅器、211…前段光増幅部、212…後段光増幅部、221, 222…励起光源、230…光カプラ、240…損失傾斜可変デバイス、250…制御回路、300…光増幅器、311…前段光増幅部、312…後段光増幅部、321, 322…励起光源、331, 332…光カプラ、340…損失傾斜可変デバイス、350…制御回路、400…光増幅器、411…前段光増幅部、412…後段光増幅部、421, 422…励起光源、440…損失傾斜可変デバイス、450…制御回路、460…スペクトルモニタデバイス、500…光増幅器。

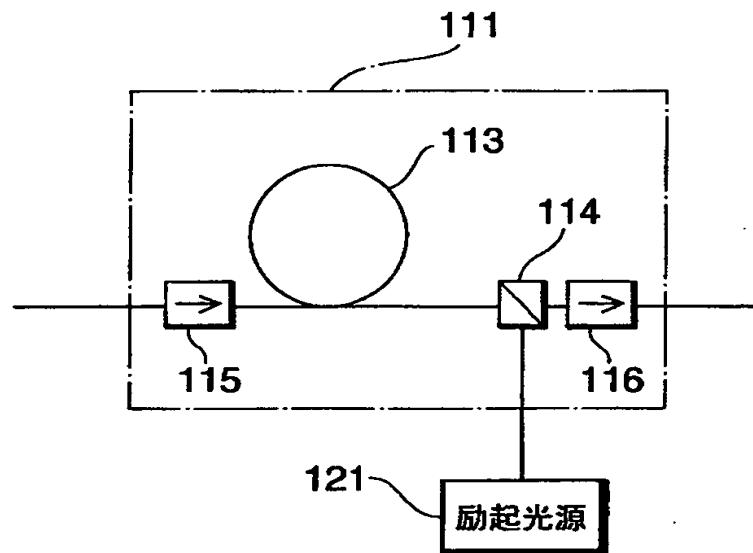
【書類名】

図面

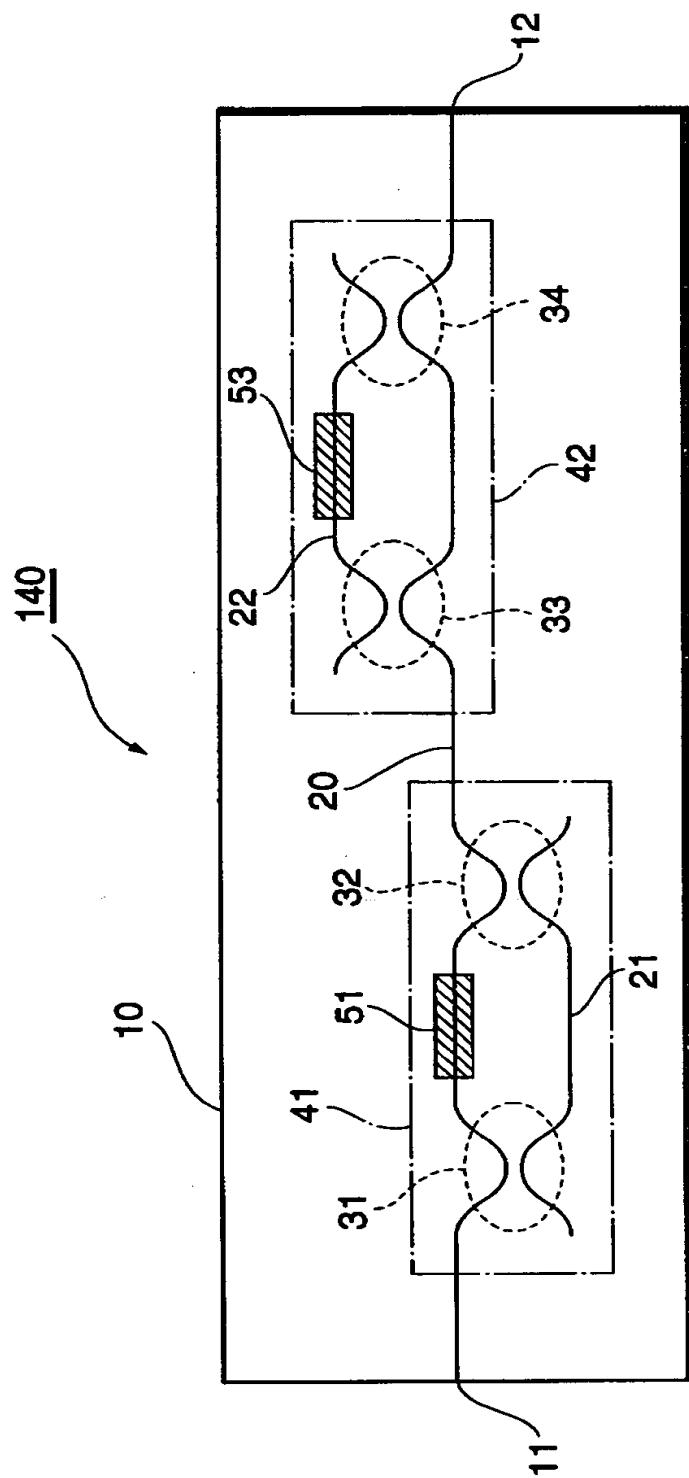
【図 1】



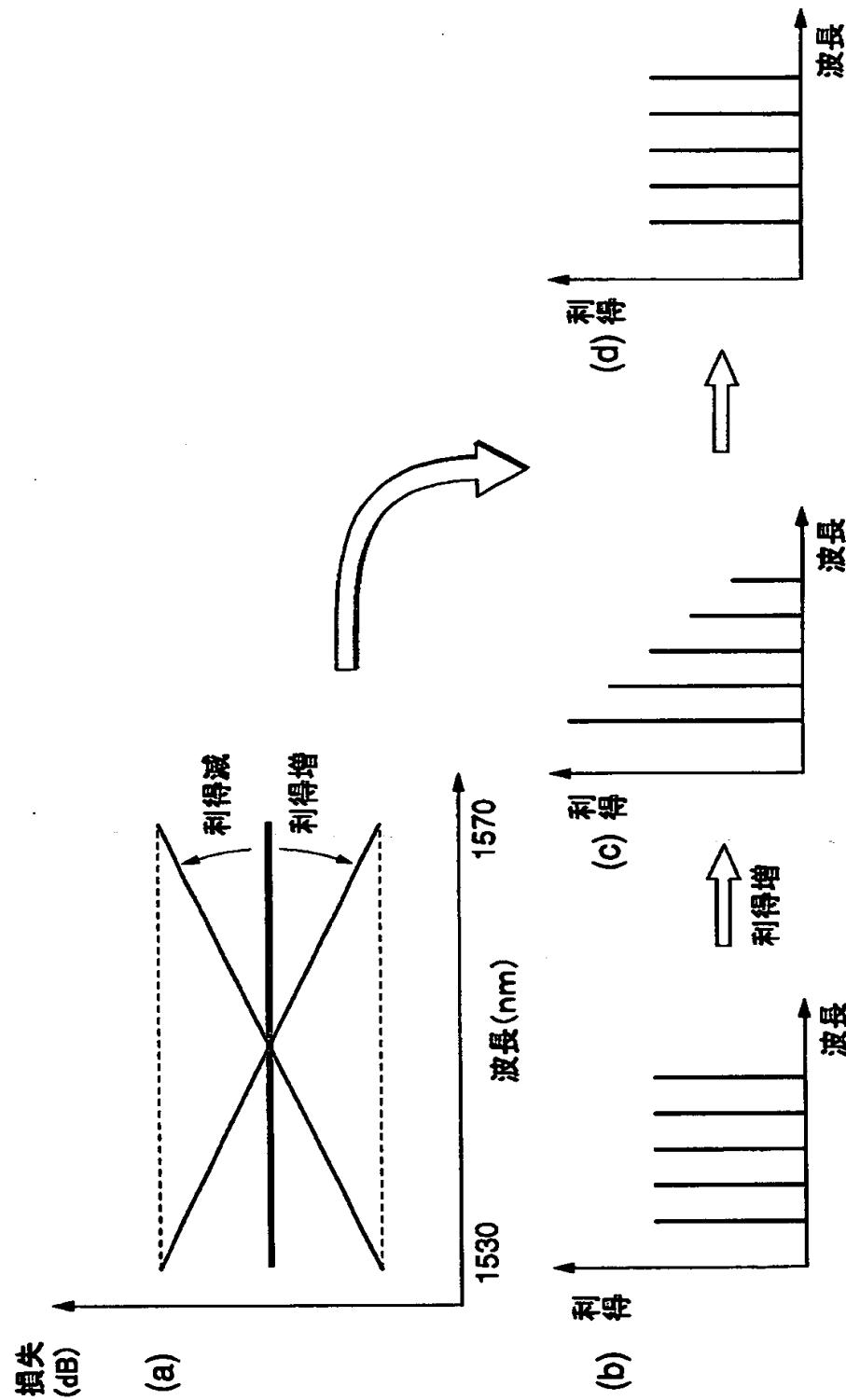
【図2】



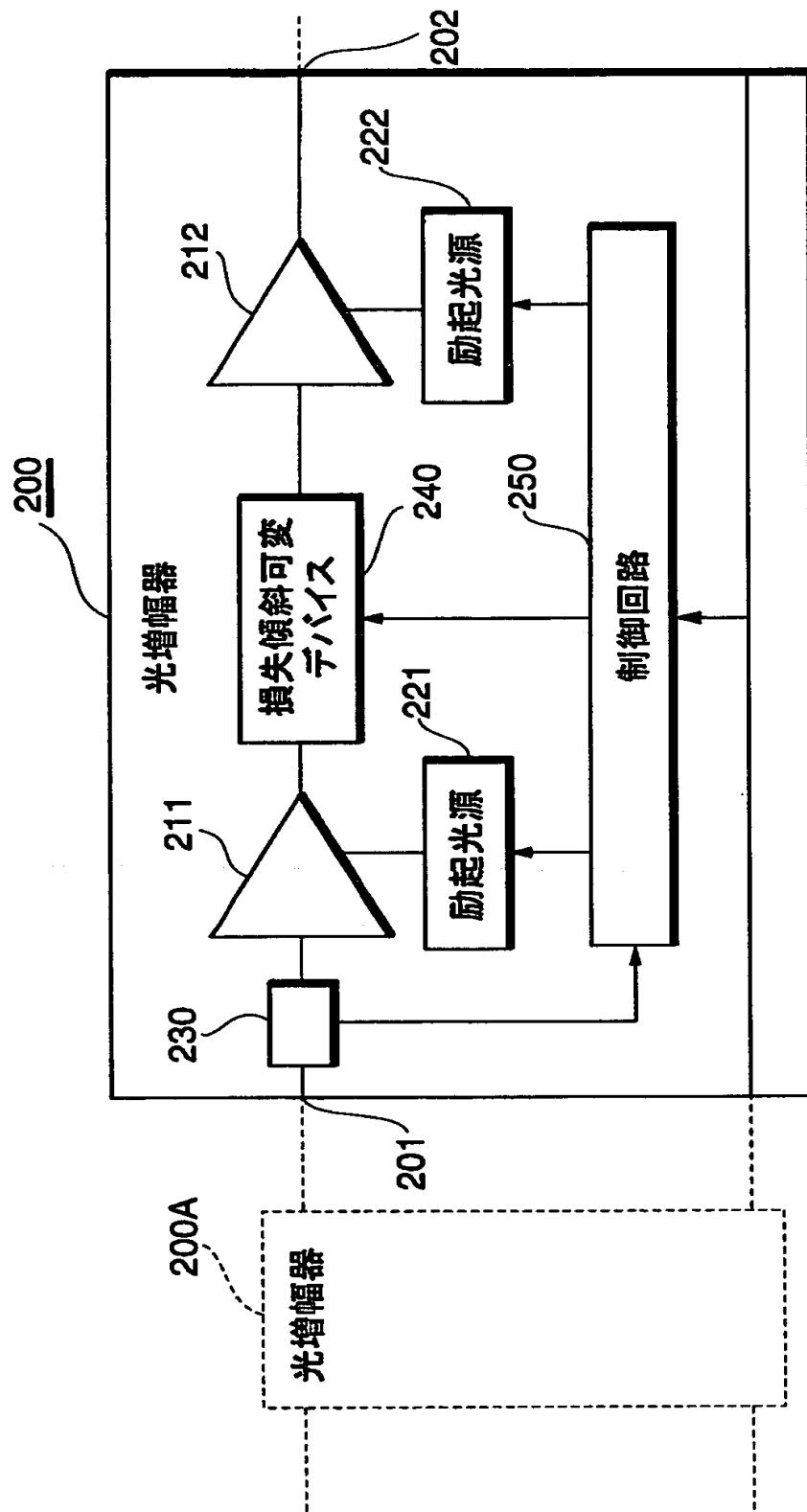
【図3】



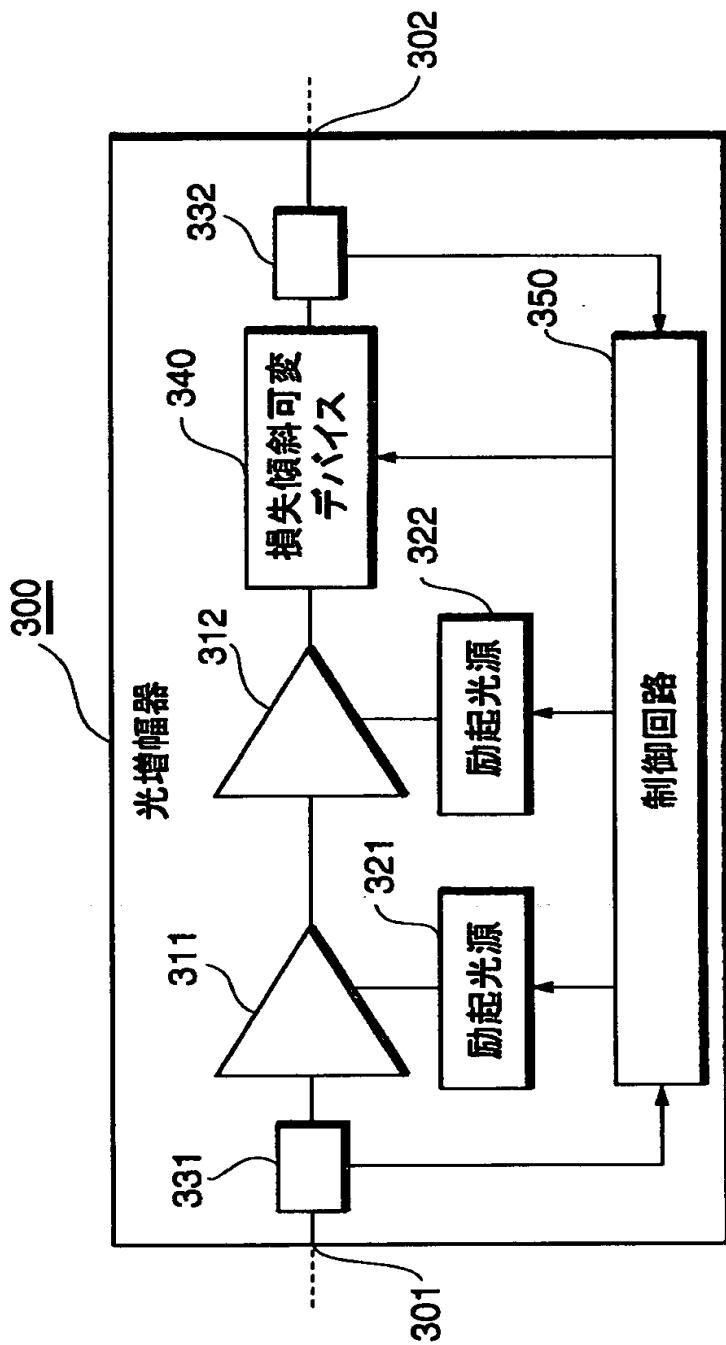
【図4】



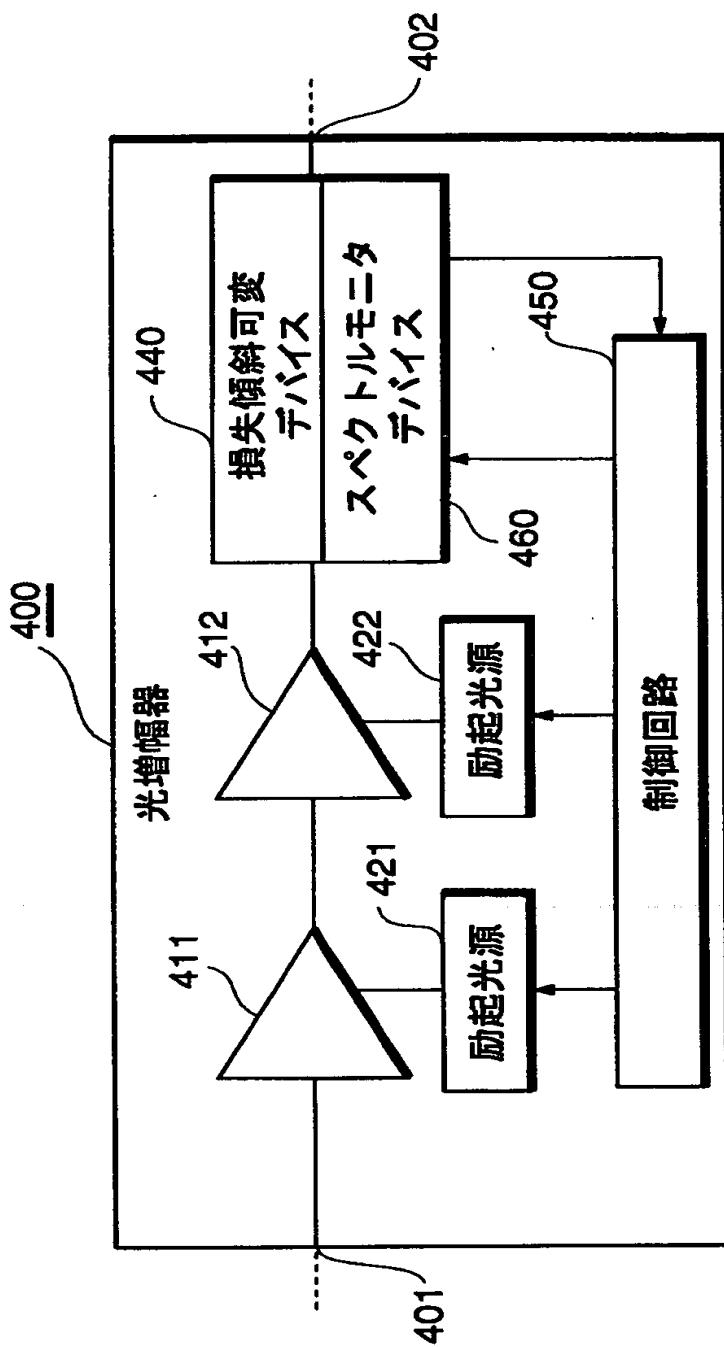
【図5】



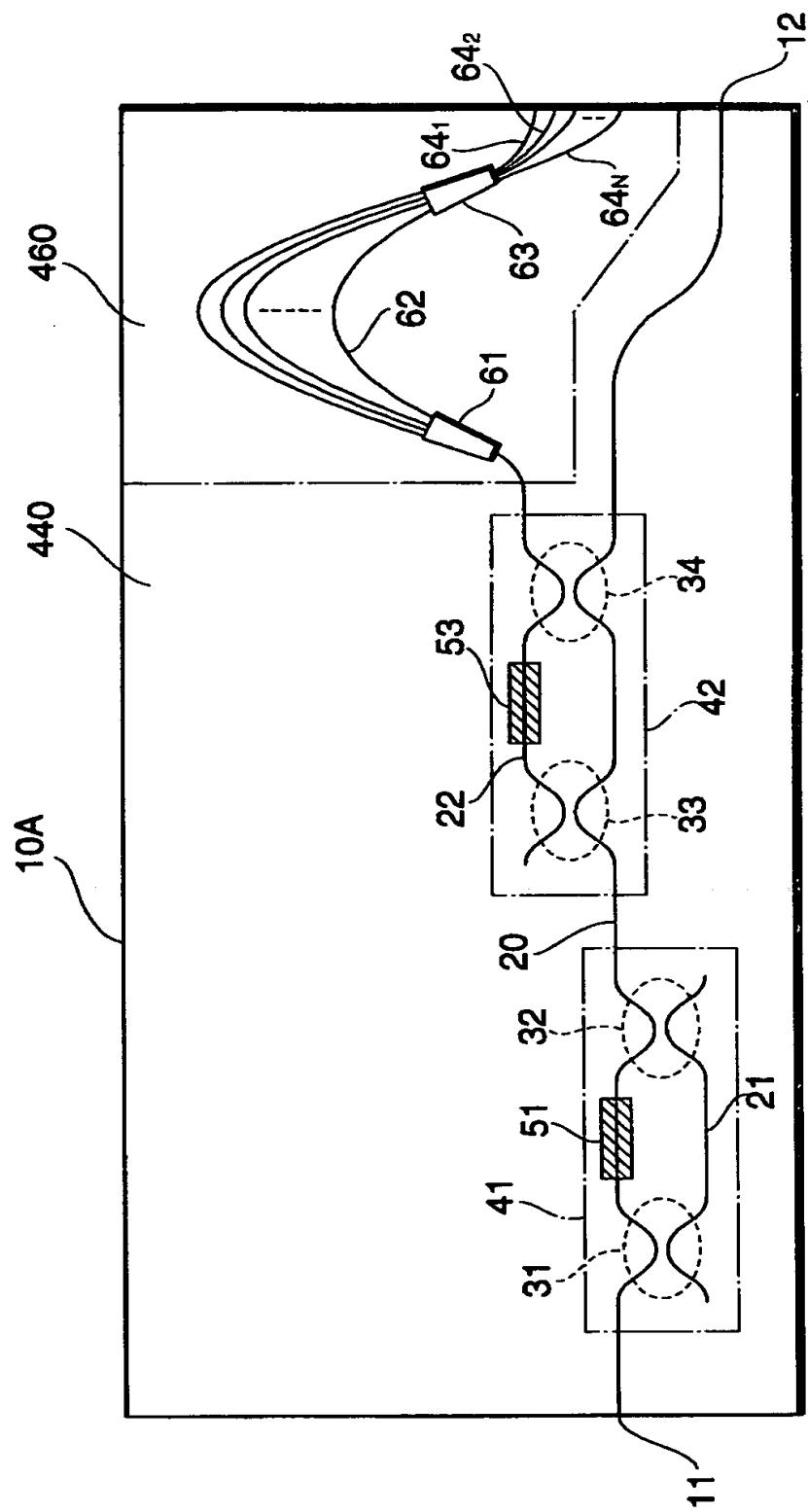
【図6】



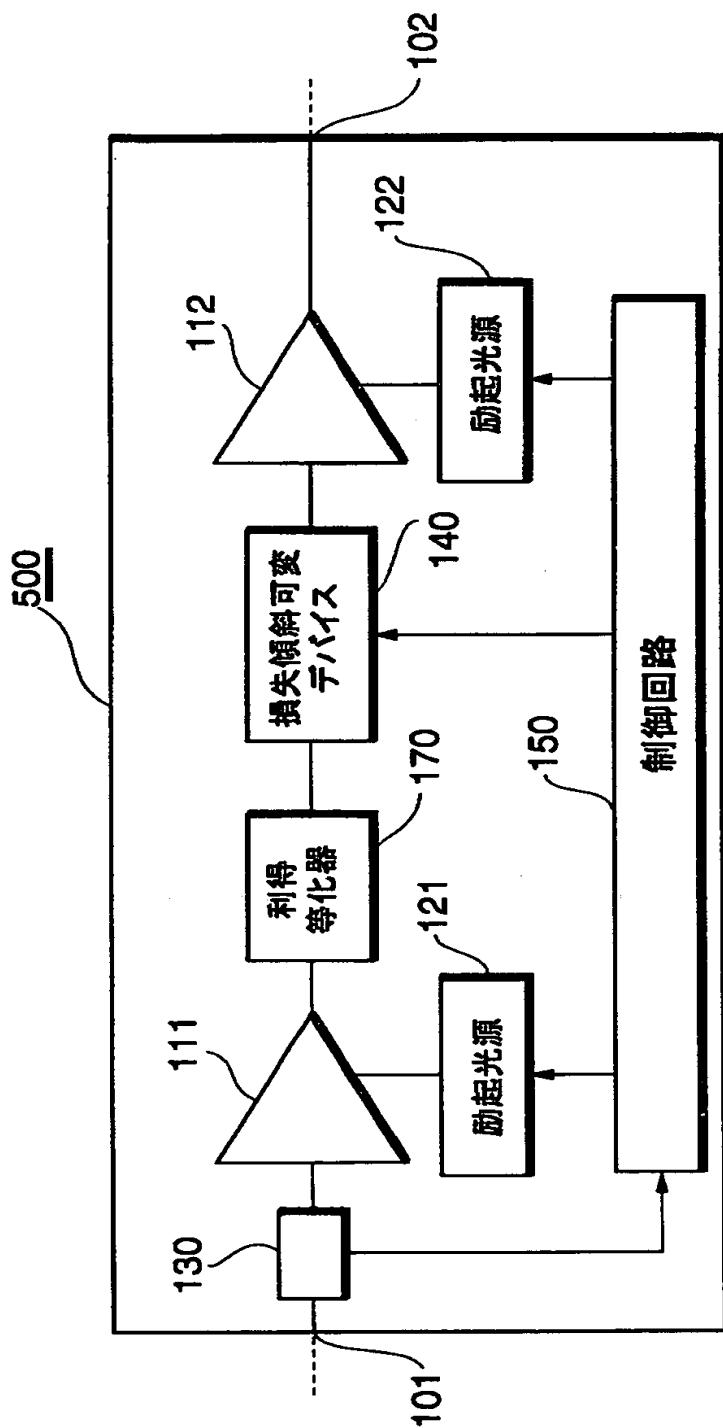
【図7】



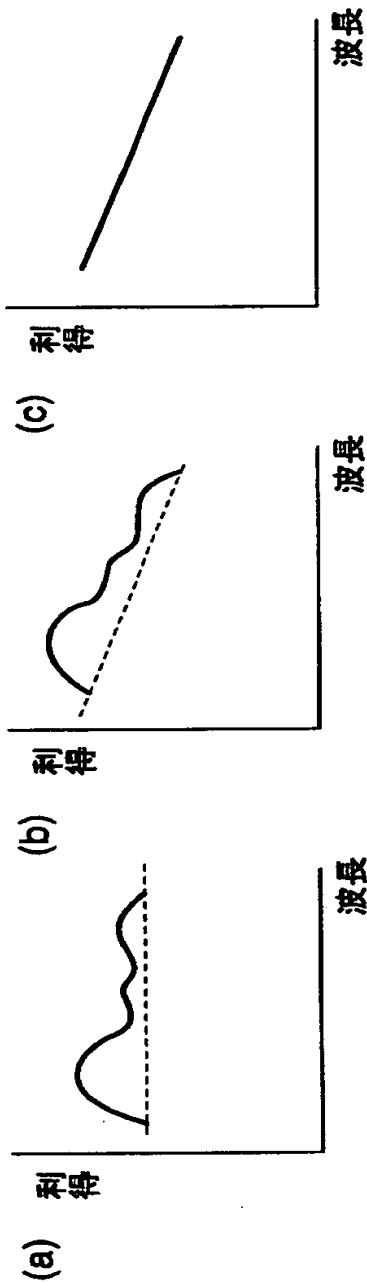
【図8】



【図9】



【図10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 入力信号光パワーが変動しても雑音指数を劣化させることなく出力信号光パワーおよび利得平坦性を維持することができる光増幅器等を提供する。

【解決手段】 損失傾斜可変デバイス140は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有している。制御回路150は、光カプラ130により分岐された信号光のパワーを検出し、その入力信号光パワーに基づいて、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源121, 122から光増幅部111, 112へ供給される励起光のパワーを制御する。また、制御回路150は、その入力信号光パワーに基づいて、損失傾斜可変デバイス140の損失傾斜を制御する。

【選択図】 図1

【書類名】 手続補正書

【提出日】 平成11年10月 7日

【あて先】 特許庁長官殿

【事件の表示】

【出願番号】 平成11年特許願第196251号

【補正をする者】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【手続補正 1】

【補正対象書類名】 特許願

【補正対象項目名】 発明者

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内

【氏名】 津崎 哲文

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内

【氏名】 西村 正幸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内

【氏名】 重松 昌行

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 畑山 均

【その他】 今般、本件に関しまして、住友電気工業株式会社の発明
者を一人欠落してしまいました。つきましては、発明者
の追加の補正を致しますので、よろしくお願ひ申し上げ
ます。

出願人履歴情報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名 住友電気工業株式会社